

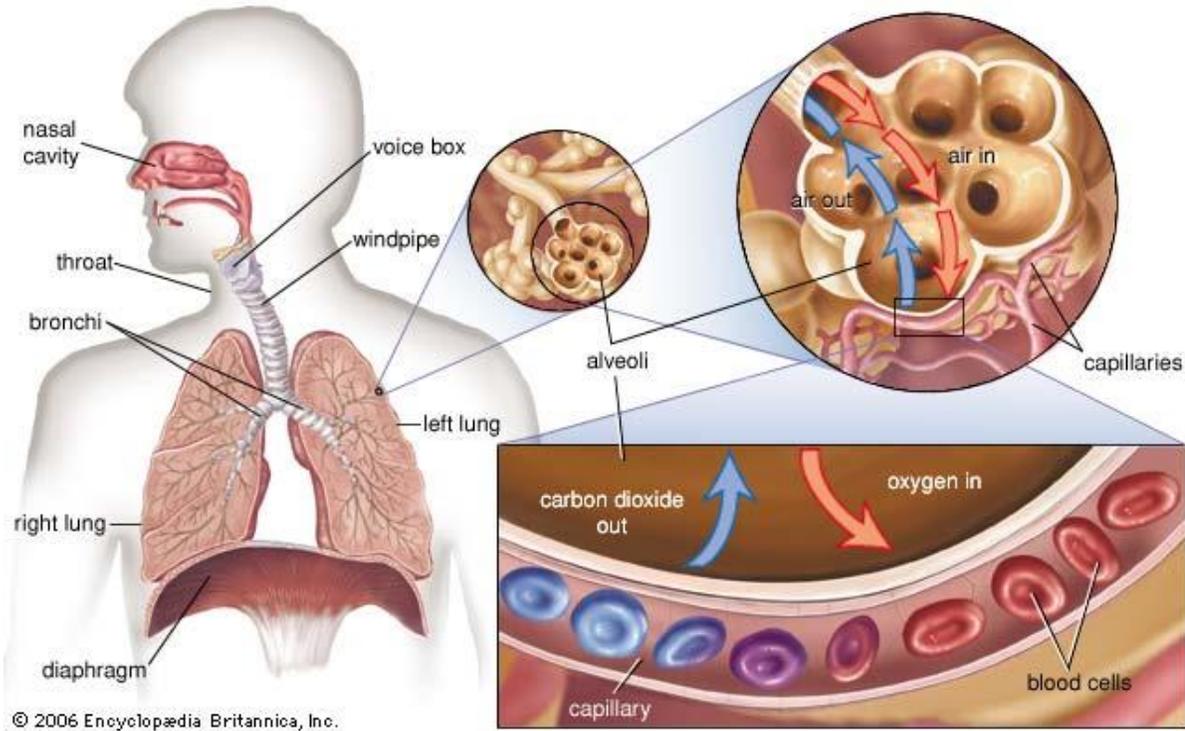


Bundesanstalt für Arbeitsschutz
und Arbeitsmedizin

Vertrauenswürdige künstliche neuronale Netze für die Erkennung von faserförmigen Gefahrstoffen

J. Schumann, T. Peters, H. Schiweg, K. Kämpf, A. Meyer-Plath

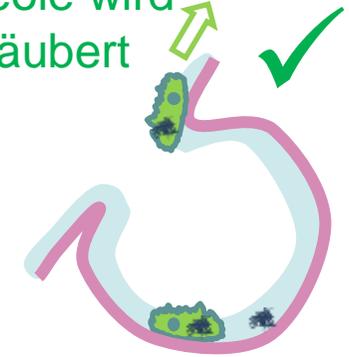
Luftgetragene biobeständige Partikel / Fasern in der Lunge



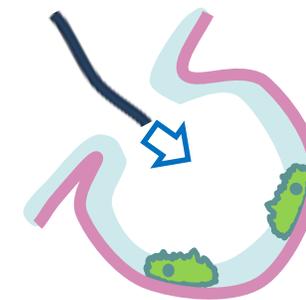
Partikelexposition



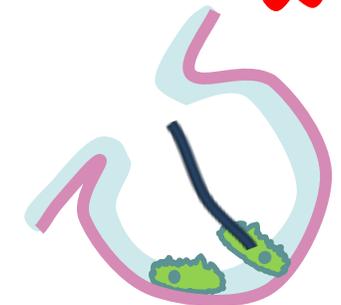
Alveole wird gesäubert



Fasereexposition



Faser verbleibt ✗



Toxikologisches Faserprinzip

- Alveolengängig (Durchmesser $< 3 \mu\text{m}$)
- Biobeständig
- Störung des Selbstreinigungsmechanismus (Länge $> 5 \mu\text{m}$) – WHO-Kriterium

Bestimmung der Anzahlkonzentration

Messtrategie

- Luftsammelproben auf Filter
- Bestimmung der Anzahlkonzentration mittels Rasterelektronenmikroskop (REM)
- Identifizierung mittels Energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDS).
- Arbeitsplatzmessungen der Staubkonzentration: analytische Nachweisgrenze 15.000 WHO-Fasern/m³
- Offline Auswertung der digitalisierten Bilder
- Je kleiner die Fasern, desto größer die Zahl der auszuwertenden Bilder.

Pixelgröße	Notwendige Bildanzahl für 0,5 mm ² Filterfläche	
	2 MPixel	20 MPixel
1 nm	420 000	25 400
3 nm	46 700	2 825
6 nm	11 700	707
12 nm	2 920	177
25 nm	670	41
50 nm	168	10
100 nm	42	3

Identifizierung von lungengängigen Fasern auf Filterproben



Sammeln luftgetragener Partikel auf Goldfilter

SEM Hitachi SU8200

Automatisierte Bildaufnahme am REM



Punktdaten anzeigen

Bild

Punktinformationen

Projektname Chrysotile A (2016-126)
Bilddatei MTP_2022_11_02_001.tip
Kommentar MTP_2022_11_02_001

TiNa 2.4.4 - Tischnavigation - MTP_2022_11_02_001.tin

Projektübersicht
MTP_2022_11_02_001 / Chrysotile A (2016-126) Datenbank

Steuerung
Hitachi SEM SU8200,8600,8700,5000
Verbinden Trennen

Probenorientierung
Referenzpunkt 1 Messen
Bild hinzufügen Anzeigen Anfahren

Punktmessung
An Aus 34 von 35
ID Pos Neu Anfahren
Speichern Anzeigen
Automatischer Bildeinzug ab Position Start

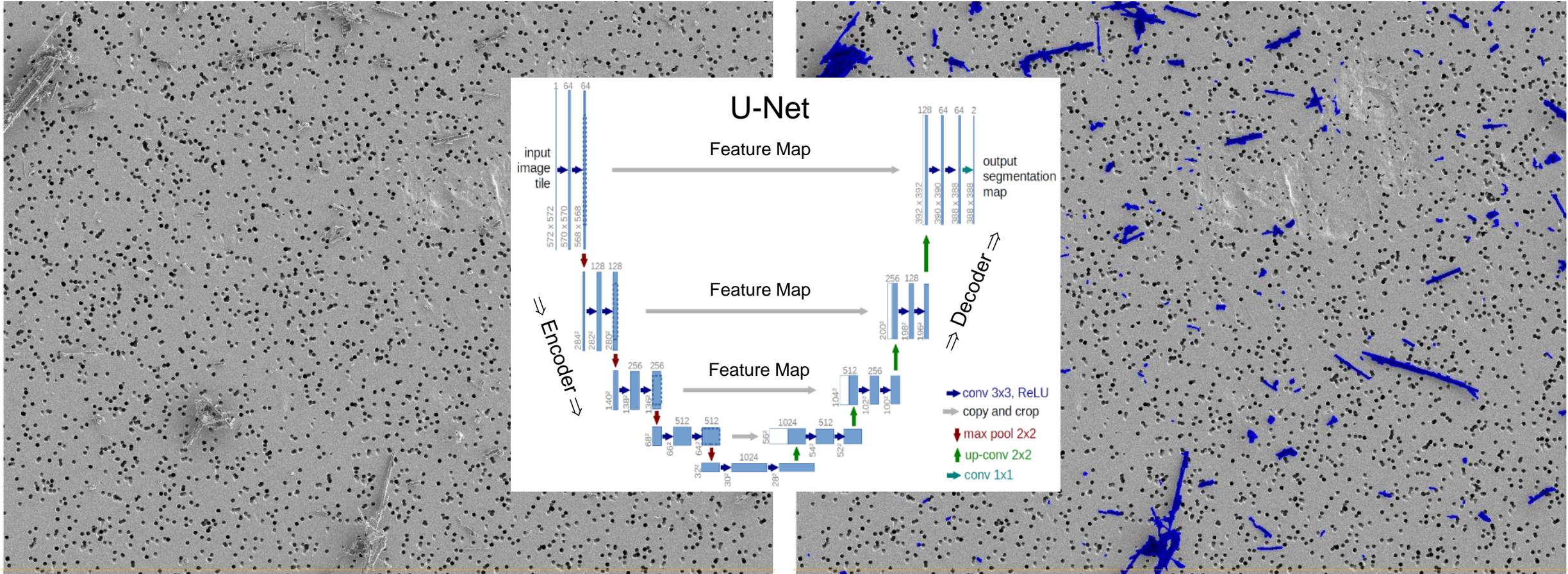
Protokoll
09:13:59 - Projekt beendet
09:15:04 - Probe >MTP_2022_11_02_001< geles
09:15:47 - Neues Projekt angelegt
09:15:48 - Projekt gespeichert in Datei: >D:\TiNa\
09:16:09 - 2 Zufallspunkte mit dem Mindestabstan
09:16:22 - Die aktuelle Orientierung wurde verwor

Ablauf: Keine externe Verbindung nötig

S	Datenerfassung	Mikroskop	Tisch	Segmentierung
●	TiNa Ablauf	Hitachi SEM SU8200,8600...	Standard/Spielsteuerung/Tischkorre...	keine
Neu				
+				

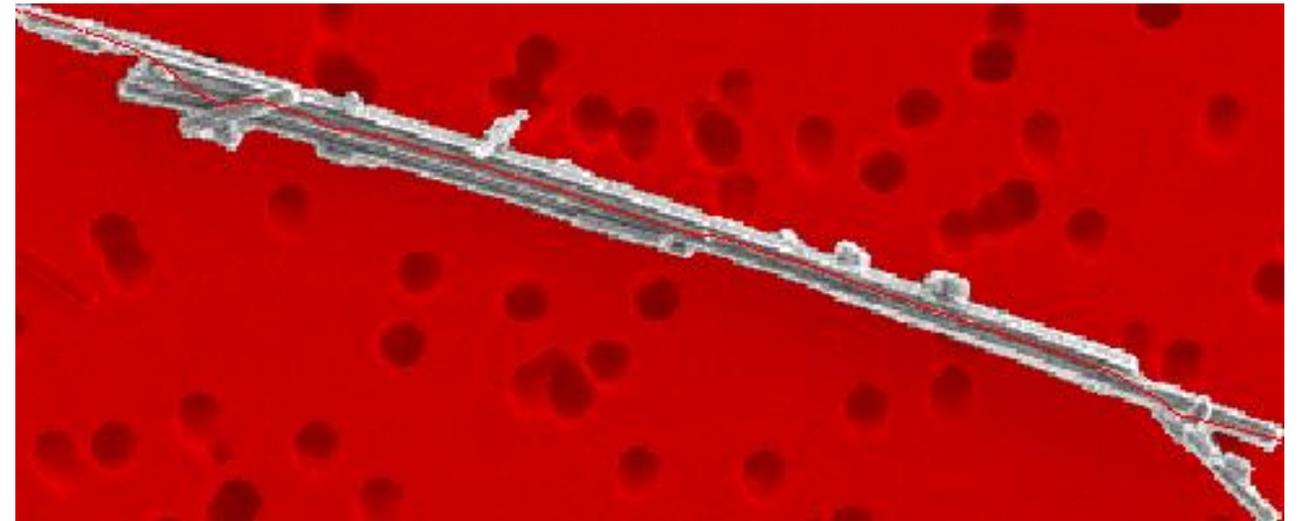
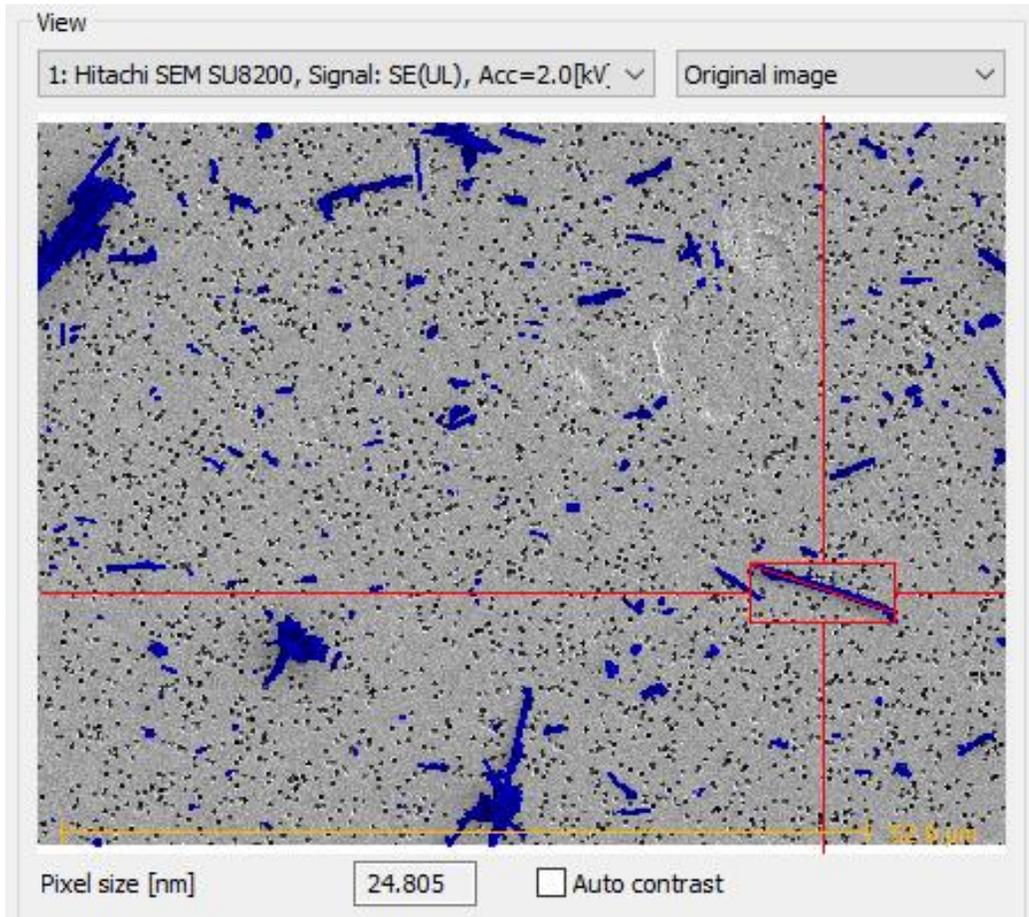
Orientierung der Probe
Zufällige Positionen
Ein Bild / EDS-Mapping für jede Position

Segmentierung der REM-Bilder mit KI-Methoden



Künstliches Neuronales Netz (KNN)

Formerkennung von Objekten (Partikel, Fasern)



Objekt als faserförmig erkannt

Faserlänge 10,2 μm und mittlere Faserbreite 0,5 μm – „WHO-Faser“

Stoffliche Identität von Fasern durch EDS-Elementerkennung

Quantifizierung von EDS-Spektren

KI-basierter Algorithmus zur Elementerkennung (in Entwicklung)

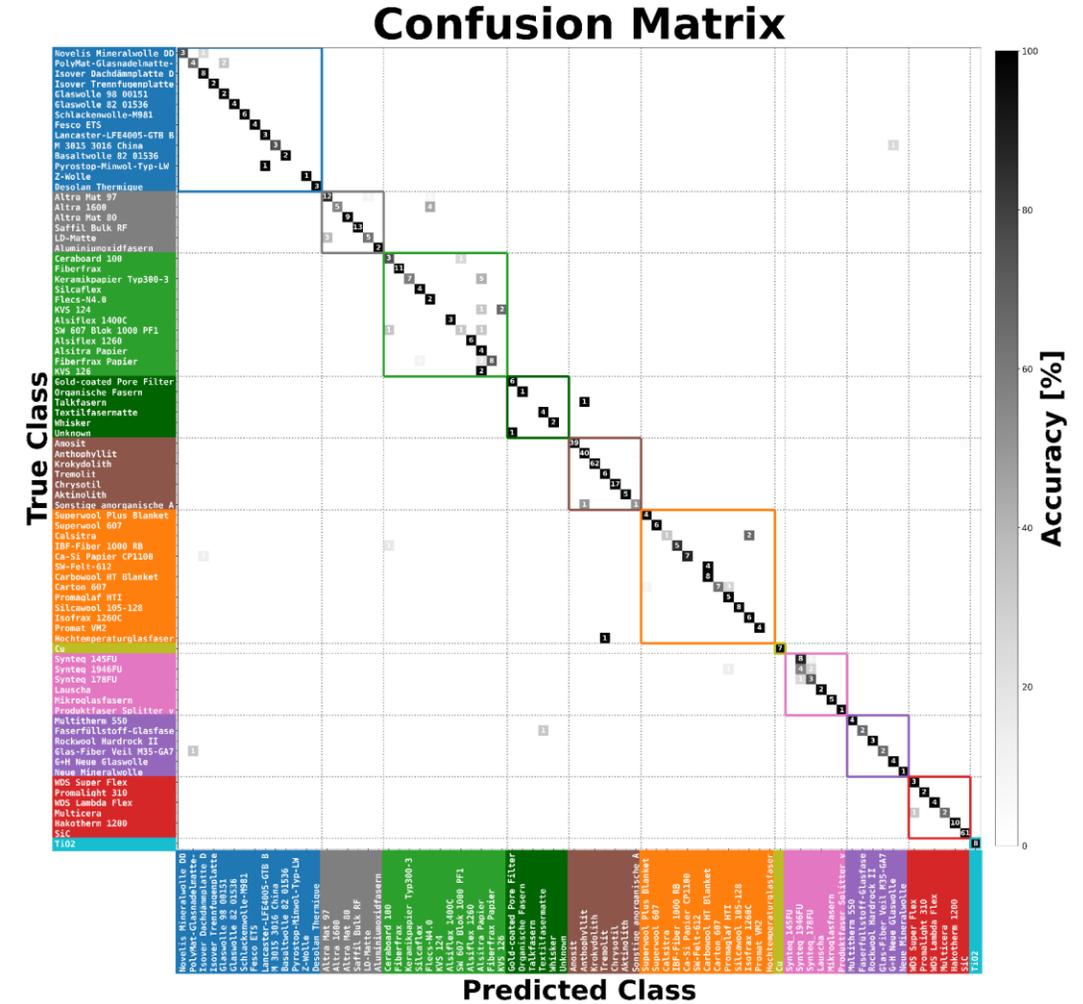
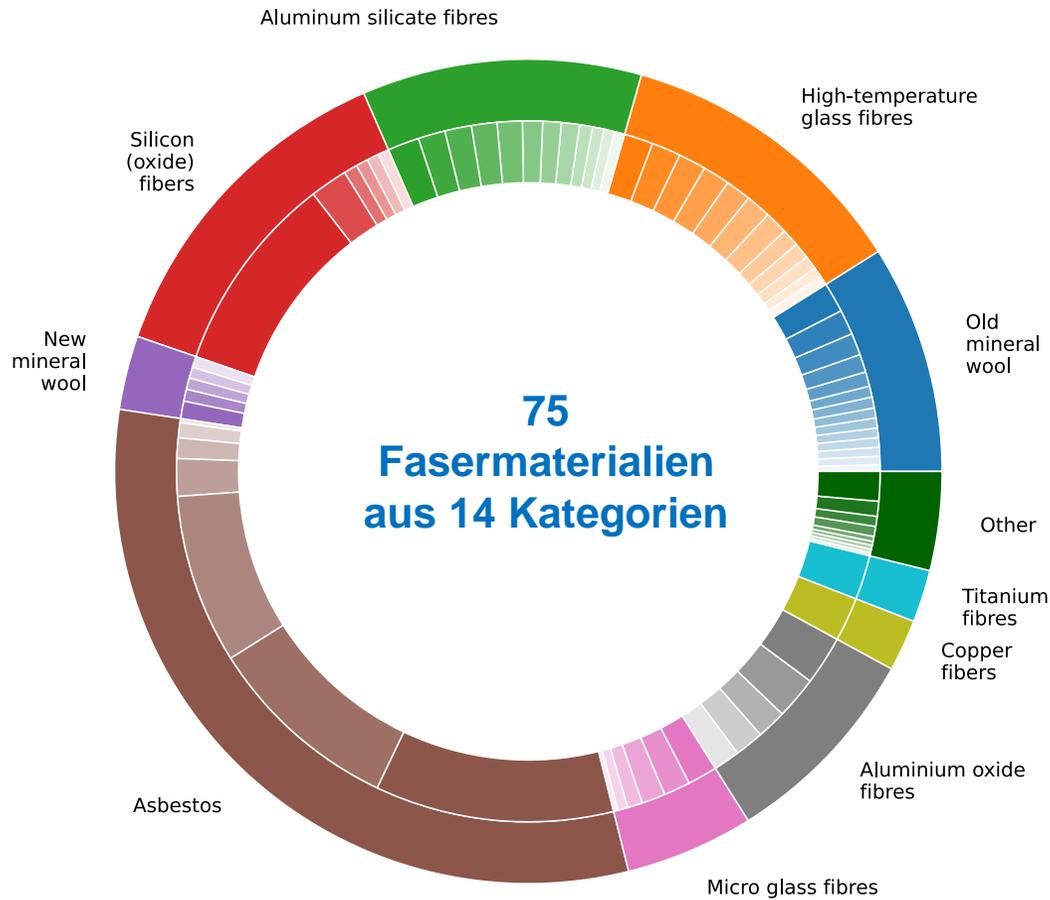
Erkennung des Materials

The screenshot displays the FibreDetect CNN 1.5.3 software interface. The main window is titled "FibreDetect CNN 1.5.3 - MTP_2022_11_02_002.fib* - Bearbeiter: FibreDetect". The interface is divided into several panels:

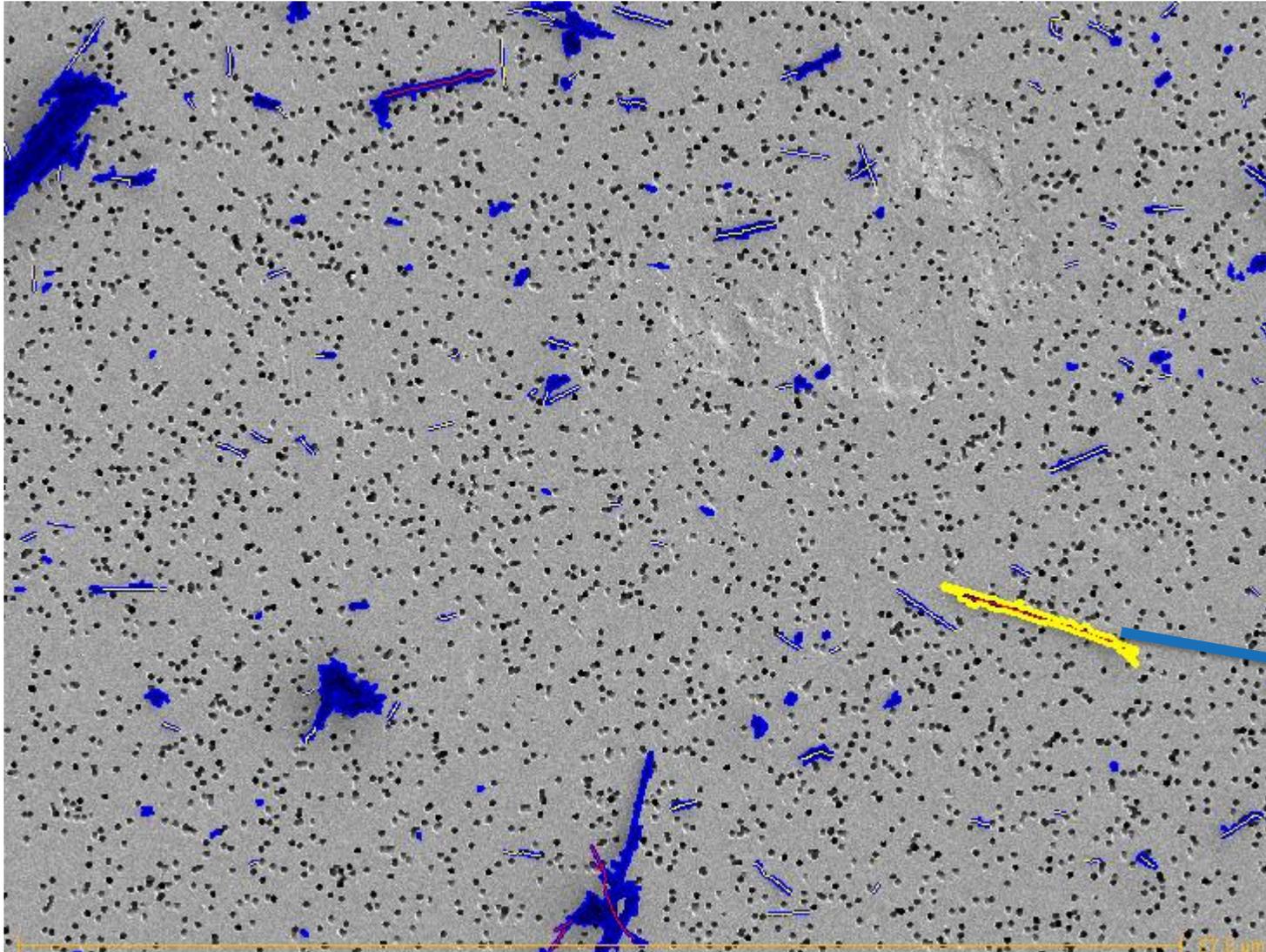
- Bilderliste:** A list of image files with columns for "S", "Bildnr.", and "Ursprung". The file "0012" is selected.
- Bildansicht:** Shows the EDS spectrum for "Hitachi SEM SU8200, Signal: SE(UL), Acc=2.0[kV]". The plot shows "counts per pixel" vs "kV" with a peak at approximately 2.0 kV. The pixel size is 24.805 nm.
- Objektklassifizierung:** A table listing classified objects with columns for "KI", "Typ", "Status", "Länge/...", and "Fläch".
- Segment:** A red image showing a fiber segment with a scale bar of 7.8 µm. The length is 10221 ± 94 nm and the width is 446 ± 32 nm.

KI	Typ	Status	Länge/...	Fläch
HARFO (F)	Hand	10221/...	3994	
LARFA (G)	Auto	8171/149	1047	
HARPA (E)	Auto	5678/360	3142	
HARFA (A)	Auto	4764/136	1707	
LARFA (G)	Auto	3720/198	9099	
HARFO (F)	Auto	3515/174	7106	
HARPA (E)	Auto	3137/149	1024	
LARFA (G)	Auto	3064/136	3912	
HARFO (F)	Auto	3023/273	8890	
HARFO (F)	Auto	2988/372	1306	
HARFO (F)	Auto	2732/298	7684	
HARFO (F)	Auto	2461/223	5002	
HARFO (F)	Auto	2457/124	3863	
HARFO (F)	Auto	2431/99	2953	
HARFO (F)	Auto	2377/397	1030	
HARFO (F)	Auto	2290/236	6497	
LARFA (G)	Auto	2263/186	1078	
HARFO (F)	Auto	2089/198	4288	
HARFO (F)	Auto	2069/149	3384	
HARFA (A)	Auto	1874/186	5568	
HARFO (F)	Auto	1726/484	8269	
HARPA (E)	Auto	1558/149	2756	
HARPA (E)	Auto	1548/186	3408	

Erkennung des Materials mit KI-Methoden



KNN Training erfolgte mit 4.400 EDS Spektren vom IFA und BAuA



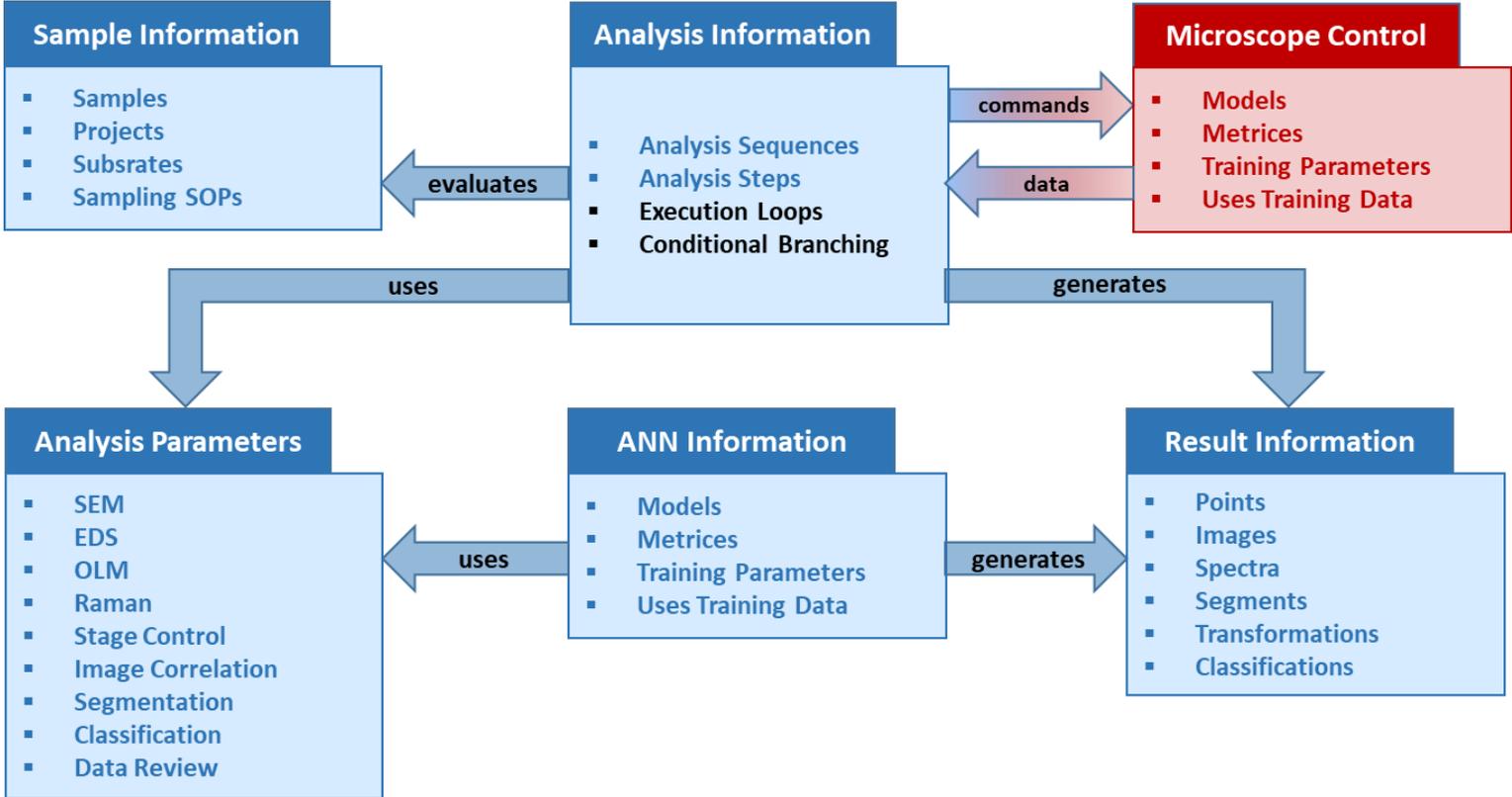
Automatische Erkennung
und Klassifizierung des
Materials

Asbestfaser
Krokydolith

Dokumentation und Überprüfung

Öffentlich zugängliche Faserdatenbank zur Dokumentation.

Experten überprüfen die Vertrauenswürdigkeit der KI.

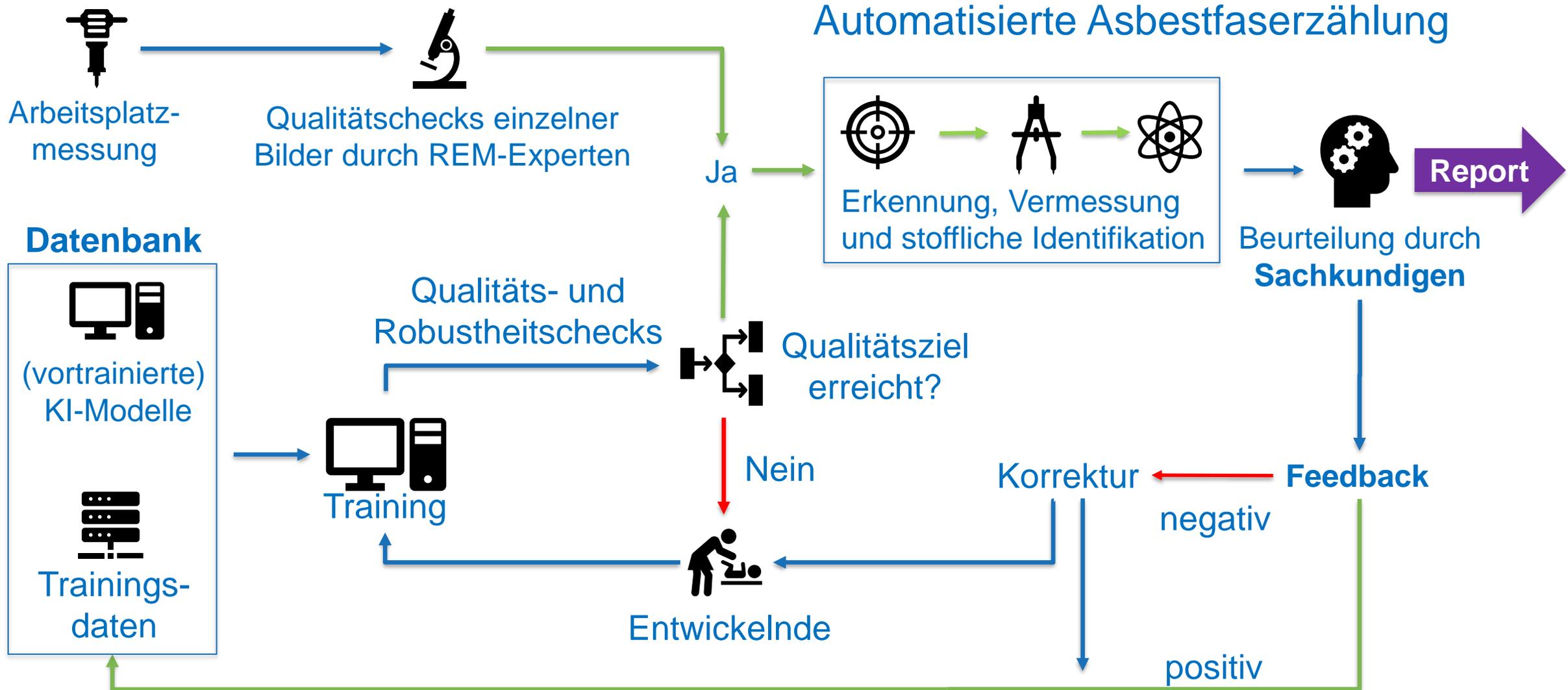


Grundsätze einer vertrauenswürdigen KI-unterstützten Software

- Transparenz, Interpretier- und Erklärbarkeit
- Genauigkeit und Zuverlässigkeit
- Mensch-KI-Zusammenarbeit
- Robustheit und Sicherheit
- Kontinuierliche Verbesserung
- Ethik und Fairness
- Datenschutz und Datensicherheit

Offizielle Standards sind noch in Arbeit (DIN Normungsroadmap KI, BMAS)

Vertrauenswürdigkeit im Entwicklungsschema



Voraussetzungen für eine KI-unterstützte Software

Software-steuerbare REM- und EDS-Systeme für die Auswertung von Filterproben
Automatisierbare Software für die Lokalisierung von Objekten
Algorithmen für die morphologische Klassifizierung dieser Objekte
Automatisierbare Softwarelösung für die Spektren Quantifizierung

Messkonventionen für verlässlich auswertbare Bilder

Messkonventionen für verlässlich auswertbare Spektren

Automatisierte Umsetzung von Messvorschriften VDI 3492, DGUV 213-546, ...

Dokumentation von KI-Modellen, Trainingsdaten

Datenbank für Messergebnisse

Ergebniszusammenstellung für die Bewertung durch sachkundige Personen

Validierungs-Experimente und Teilnahme an Ringversuchen

Technische Voraussetzung

Mikroskope REM mit EDS

- REM: Hitachi, DISS5/6, Phenom
- EDS: Bruker XFlash, Oxford

Für TiNa z. Zt. in Entwicklung

Software (BAuA Entwicklungen)

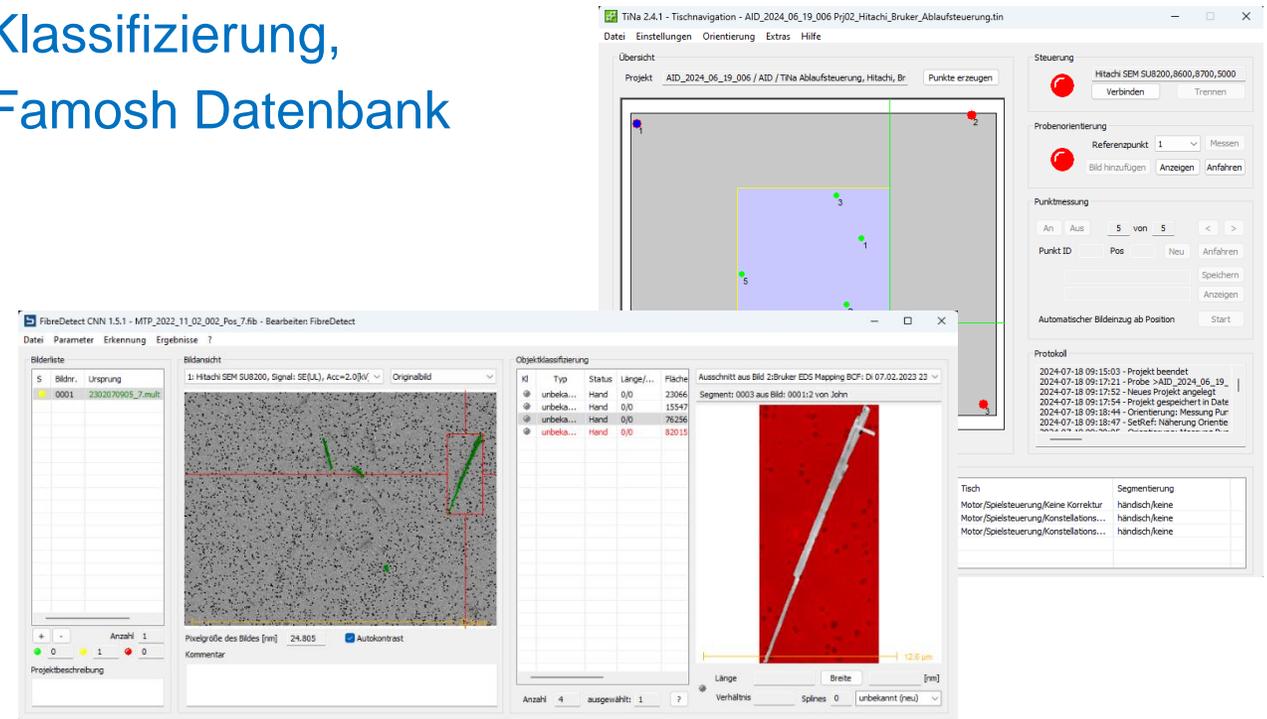
- TiNa zur Bild- und EDX-Spektrenerfassung
- FibreDetect zur Objekterkennung und Klassifizierung,
- Famosh Datenbank



Hitachi SU8230

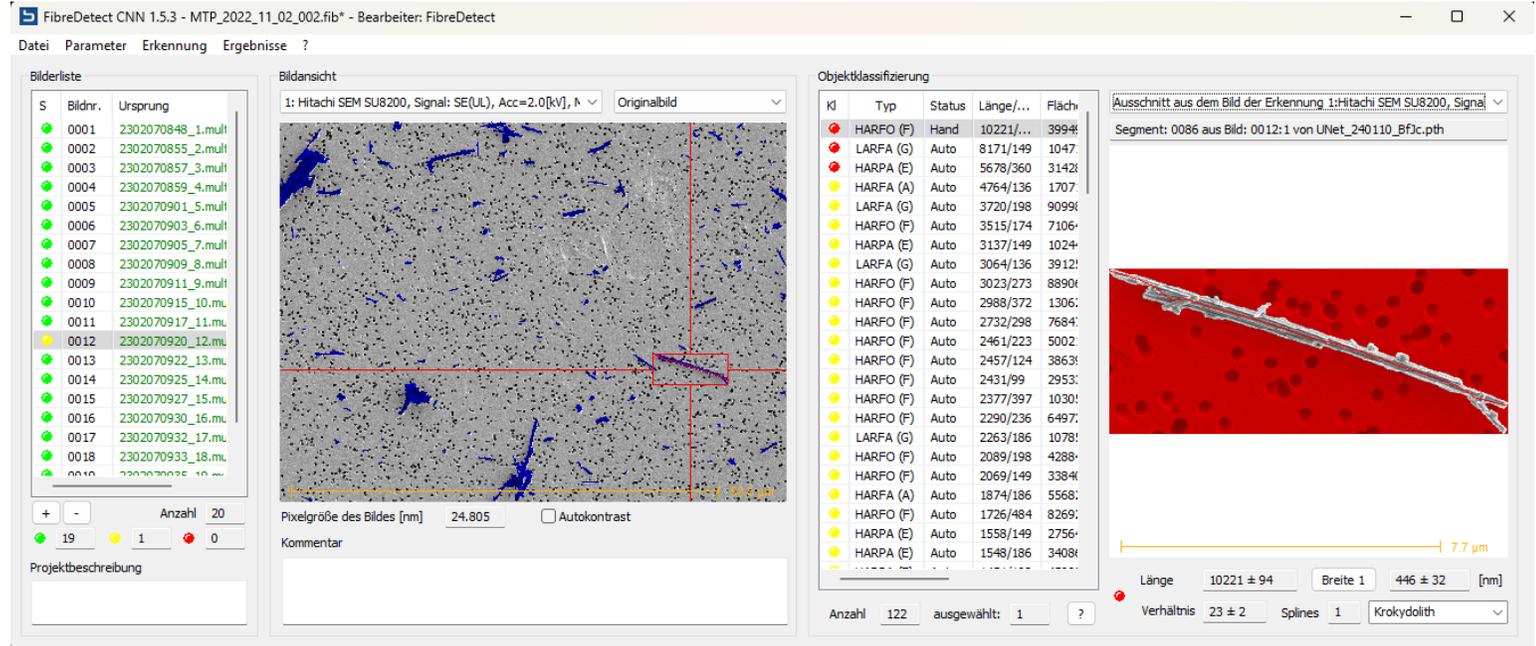
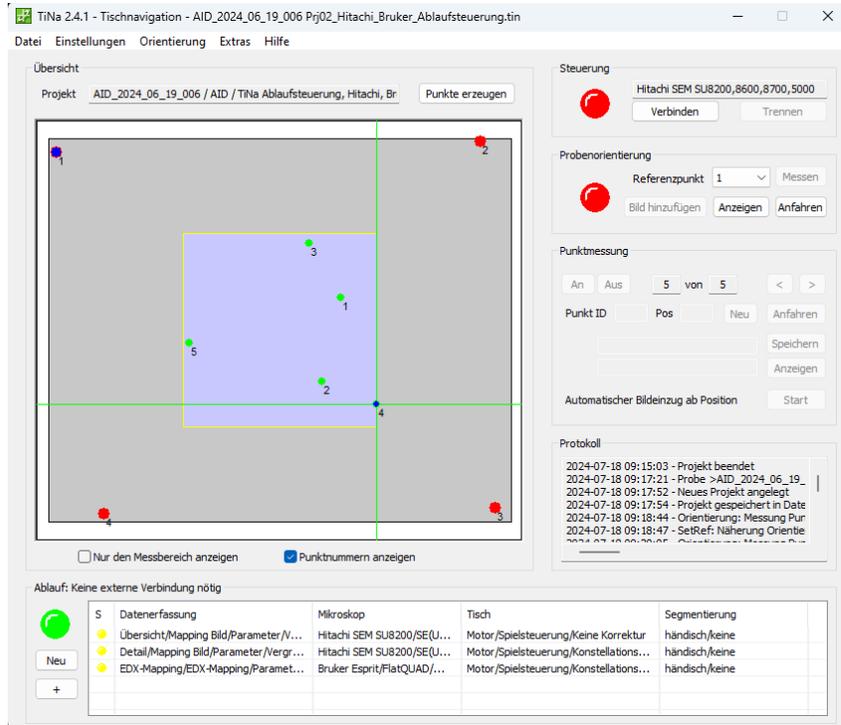


Bruker XFlash



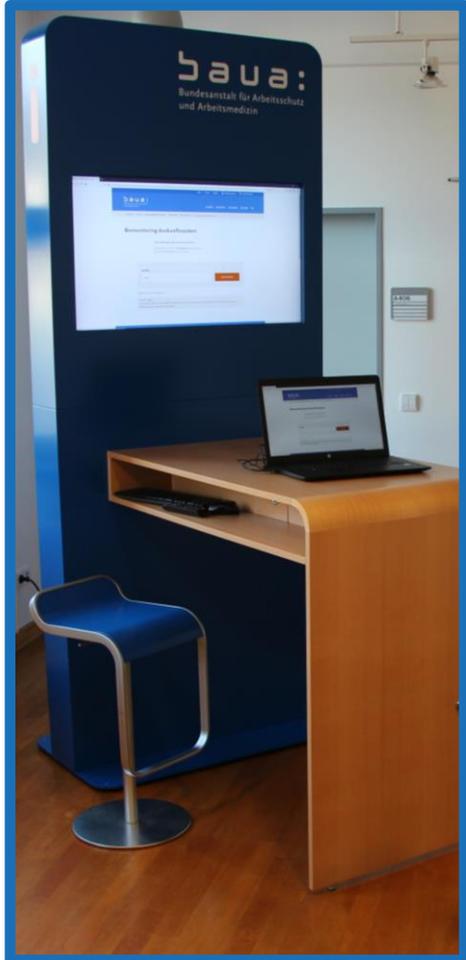
TiNa und FibreDetect

Verfügbarkeit der BAuA Software



TiNa + FibreDetect ist kostenlos über die BAuA erhältlich
Bruker und DISS gegen Lizenzgebühr
Training von KNNs bisher noch offen

Vertiefender Austausch – direkter Dialog



Direkt im Anschluss
an die Veranstaltung

16:45 bis 17:15

am Stand der BAuA im Foyer

neben der Registrierung

Kontakt: schumann.john@baua.bund.de